

## Pomiary interharmonicznych w ocenie jakości energii elektrycznej

dr hab. inż. Andrzej OLENCKI

Projektant urządzeń elektronicznych w zakładach Lumel 1977-89, Inmel 1989-90 i Calmet od 1990. Studia (Bydgoszcz, Charków 1972-77), doktorat (Wrocław 1984-86), habilitacja (Kijów 1989-91). Od 1991 profesor Instytutu Informatyki i Elektroniki oraz kierownik Zakładu Elektroniki i Układów Mikroprocesorowych. Zainteresowania to odtwarzanie i pomiar wielkości elektroenergetycznych.

e-mail: A.Olenckii@iie.uz.zgora.pl



dr inż. Krzysztof URBAŃSKI

Autor ukończył Wyższą Szkołę Inżynierską w Zielonej Górze - Wydział Automatyki i Metrologii. Praca doktorska dotyczyła budowy wielofazowych kalibratorów mocy. Zainteresowania skupiają się na konstruowaniu urządzeń do analizy parametrów jakości energii elektrycznej, budowie kalibratorów odtwarzających te parametry i praktycznym ich wdrażaniu do produkcji w firmie Calmet.

e-mail: K.Urbanski@iie.uz.zgora.pl



dr inż. Piotr MRÓZ

Dr inż. Piotr Mróz urodził się w roku 1966. Absolwent Wydziału Elektrycznego Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Zielonej Górze, dyplom (1990) w zakresie automatyki i metrologii elektrycznej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji Uniwersytetu Zielonogórskiego (2002). Zainteresowania naukowe koncentrują się w zakresie mikroprocesorowych urządzeń i systemów testujących aparaturę pomiarową i sterującą.

e-mail: P.Mroz@iie.uz.zgora.pl



### Streszczenie

W artykule przedstawiono zjawisko powstawania częstotliwości interharmonicznych w sieciach energetycznych, ich definicję oraz sposób pomiaru zgodnie z normą IEC61000-4-7 i 4-30. Opisano definicję całkowitego współczynnika zniekształceń interharmonicznych. Zwrócono uwagę na szczególny przypadek interharmonicznych - napięcie sygnałowe. Opisano urządzenie służące do pomiaru i rejestracji interharmonicznych i napięcia sygnałowego oraz zaprezentowano wyniki pomiarów.

### Abstract

The article presents the phenomena of interharmonic frequencies in power supply networks, their definition and method of measurements according to the standards IEC61000-4-7 and 4-30. The definition of Total Interharmonic Distortion is presented. Attention is paid to the special case of interharmonics - signal voltage. There is described a device for interharmonics and signal voltage recording and are presented the results of measurements.

**Słowa kluczowe:** jakość energii elektrycznej, harmoniczne, interharmoniczne, współczynnik zniekształceń, kalibrator mocy, miernik, rejestrator, analizator parametrów sieci.

**Keywords:** power quality, harmonics, interharmonics, power calibrator, power network parameters meter, recorder, analyzer.

## 1. Wstęp

Liberalizacja rynku energii elektrycznej doprowadziła do sytuacji, w której stała się ona towarem o precyzyjnie określonych parametrach [3]. Pomiar i rejestracja tych parametrów jest podstawą kontroli i utrzymania jakości energii elektrycznej w sieci zasilającej. Jednym z rzadziej mierzonych parametrów są interharmoniczne w napięciu i prądzie a także szczególnie przypadek napięcia interharmonicznego - napięcie sygnałowe.

Definicję interharmonicznych bardzo łatwo odnieść do sygnałów harmonicznych. Częstotliwości harmoniczne są to całkowite wielokrotności częstotliwości podstawowej - dla 50Hz są to np. 150Hz czy 200Hz. Dla odmiany częstotliwości interharmoniczne są niecałkowitymi wielokrotnościami częstotliwości podstawowej np. 227Hz dla częstotliwości podstawowej 50Hz. W sieci energetycznej zdarzają się zarówno pojedyncze częstotliwości interharmoniczne jak i całe ich pasma. Źródłem powstawania zniekształceń interharmonicznych mogą być gwałtowne, powtarzające się zmiany obciążenia, przetwornice mocy i częstotliwości,

piece łukowe, silniki elektryczne o zmiennym obciążeniu oraz sygnały automatyki elektroenergetycznej przesyłane przez linie zasilające. Konsekwencją występowania interharmonicznych w sieci zasilającej mogą być zdużenia z częstotliwością podstawową i harmonicznymi powodując wahania napięcia i występowanie zjawiska migotania światła - flikera. Ponadto interharmoniczne mogą powodować dodatkowe straty w instalacjach wynikające z przepływu „niechcianego” prądu, zakłócenia w pracy lamp fluorescencyjnych i innych urządzeń elektronicznych opierających swe działanie na przejściu sygnału przez „zero”, rezonanse w sieci, dodatkowy hałas akustyczny w urządzeniach elektrycznych oraz oczywiście zmniejszenie sprawności maszyn.

Jednym ze specjalnych przypadków występowania częstotliwości interharmonicznych jest tzw. napięcie sygnałowe (ang. mains signalling), które służy do sterowania automatyką energetyczną. Sygnały transmitowane są przez sieć energetyczną w formie sekwencji impulsów o czasie trwania od 0,1 do 7s i długości całej sekwencji od 6 do 180s. Najczęściej impulsy te mają postać sygnału sinusoidalnego o częstotliwości w zakresie 110 do 3000Hz i amplitudzie 2 do 5% wartości nominalnej napięcia sieciowego.

Dopuszczalny poziom zniekształceń interharmonicznych nie jest dotychczas znormalizowany. Oczywiście jest, że nie mogą one przekraczać poziomów wymaganych dla harmonicznych. Prowadzone prace sugerują poziom 0,2% dla poszczególnych częstotliwości z 10 minutowym uśrednieniem wyników. Natomiast znormalizowane zostały wymagania dotyczące napięcia sygnałowego [3]. Jego poziom, przy 3s uśrednianiu wartości, nie powinien przekroczyć poziomu 9% wartości nominalnej napięcia sieci w ciągu 95% dnia.

## 2. Sposób pomiaru interharmonicznych i napięcia sygnałowego

Praktycznie do pomiaru interharmonicznych wykorzystywana jest analiza widmowa sygnału  $f(t)$  oparta na transformacie Fouriera zgodnie z wzorem (1).

$$f(t) = c_0 + \sum_{m=1}^{\infty} c_m \sin\left(\frac{m}{N} \omega_1 t + \varphi_m\right) \quad (1)$$

$$\text{przy czym: } c_m = |b_m + ja_m| = \sqrt{a_m^2 + b_m^2} \quad C_m = \frac{c_m}{\sqrt{2}}$$

$$b_m = \frac{2}{T_w} \int_0^{T_w} f(t) \cdot \sin\left(\frac{m}{N} \omega_1 t + \varphi_m\right) dt \quad (2)$$

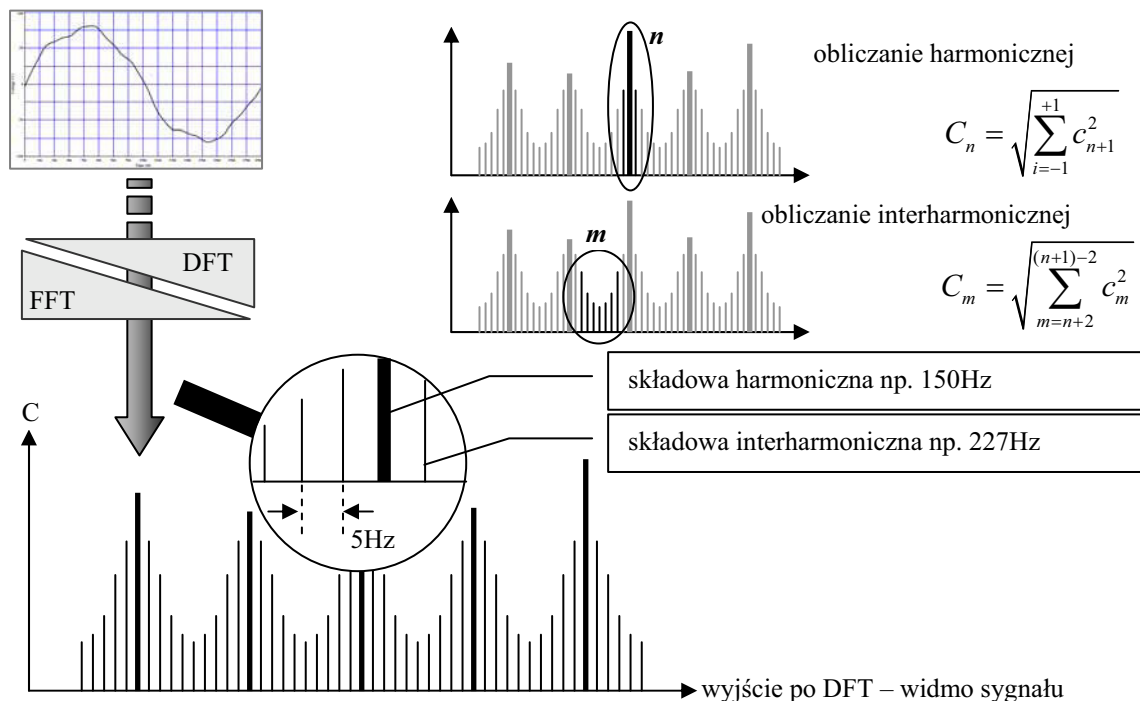
$$a_m = \frac{2}{T_w} \int_0^{T_w} f(t) \cdot \cos\left(\frac{m}{N} \omega_1 t + \varphi_m\right) dt \quad (3)$$

gdzie:

$\omega_1$  - częstotliwość podstawowa - pierwsza harmoniczna;

$T_w$  – czas – długość okna pomiarowego równy całkowitej liczbie  $N$  okresów pierwszej harmonicznej;  
 $c_m$  – amplituda składowej z częstotliwością  $f_m$ ;  
 $N$  – liczba okresów w oknie pomiarowym dla którego przeprowadzana jest transformata Fouriera;  
 $c_0$  – składowa stała sygnału;  
 $m$  – numer prążka częstotliwości interharmonicznej;

Wykrywanie napięcia sygnałowego możliwe jest na dwa sposoby: dla zadanej częstotliwości napięcia oblicza się amplitudę napięcia lub zakładając, że poziom napięcia sygnałowego jest zdecydowanie wyższy od zazwyczaj niskich interharmonicznych, poszukuje się prążka częstotliwości o najwyższej wartości. Ta druga metoda została wykorzystana w prezentowanym poniżej urządzeniu.



Rys.1. Zasady pomiaru i obliczania harmonicznych i interharmonicznych.  
 Fig. 1. Principles of harmonics and interharmonics measurement and calculation.

Z równania (1) wynika, że aby uzyskać informację o interharmonicznych z rozdzielczością 5Hz dla częstotliwości podstawowej 50Hz, należy przekształceniu Fouriera poddać zbiór próbek sygnału z 10 okresów o sumarycznej długości 200ms.

Na rysunku Rys.1 przedstawiono zasady pomiaru i obliczania harmonicznych i interharmonicznych. Spróbkowany sygnał poddawany jest obróbce algorytmem DFT (Discrete Fourier Transform) lub jego szybszą wersją FFT (Fast Fourier Transform). W tym drugim przypadku należy pamiętać aby liczba próbek była potęgą liczby 2. Dla często spotykanego w aparaturze energetycznej przypadku 128 próbek na okres (dla częstotliwości 50Hz pozwala to na obróbkę do 64 harmonicznej, co zaspokaja wymagania norm) i próbkowaniu 10 okresów daje to 1280 próbek, którą to liczbę należy uzupełnić do 2048. Zgodnie z normą [6] do obliczenia harmonicznej brane są pod uwagę: prążek częstotliwości będący całkowitą wielokrotnością częstotliwości podstawowej i dwa prążki odległe od niego odpowiednio o  $\pm 5$ Hz. Wartość harmonicznej wyliczana jest jako średnia kwadratowa z wartości prążków. Do obliczenia interharmonicznych wykorzystuje się pozostałe prążki między harmonicznymi, również uśrednione średniokwadratowo.

Przez analogię do całkowitego współczynnika zniekształceń harmonicznych THD (Total Harmonic Distortion) wprowadzono również całkowity współczynnik zniekształceń interharmonicznych TIHD (Total Interharmonic Distortion) dany wzorem (4):

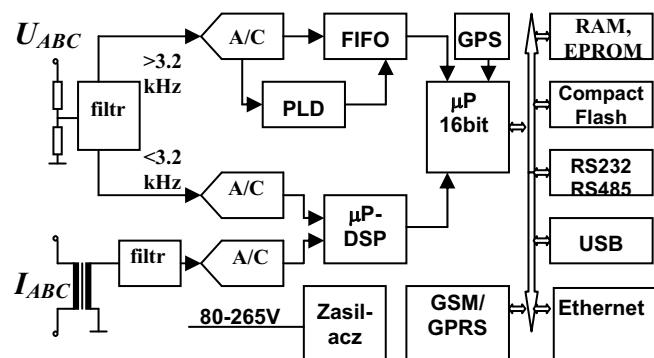
$$TIHD = \frac{\sqrt{\sum_{m=1}^k C_m^2}}{C_1} \quad (4)$$

gdzie:

$C_m$  – wartości kolejnych interharmonicznych do rzędu  $k$ ;  
 $C_1$  – wartość pierwszej harmonicznej.

### 3. Praktyczna realizacja pomiaru interharmonicznych i napięcia sygnałowego z wykorzystaniem analizy widmowej

Na rysunku Rys.2 przedstawiono blokowy schemat struktury analizatora NSQ400 do pomiaru i rejestracji parametrów jakości energii elektrycznej, w tym całkowitego współczynnika zniekształceń interharmonicznych i napięcia sygnałowego.



Rys.2. Struktura rejestratora parametrów sieci energetycznej.  
 Fig. 2. Structure of power quality parameters recorder.

Trójfazowe napięcia ( $U_{ABC}$ ) lub prądy ( $I_{ABC}$ ) próbkowane są synchronicznie do częstotliwości napięcia sieci energetycznej przez zespół przetworników A/C, przy czym za pomocą układu pętli synchronizacji fazowej (PLL), częstotliwość sieci mnożona jest przez 128, co daje częstotliwość próbkowania 6,4kHz dla wejściowej częstotliwości 50Hz. Algorytm FFT realizowany jest za pomocą procesora DSP typu ADSP 2181 wykorzystując bufor w pamięci RAM zawierający próbki z 20 okresów sygnału. Wyniki obliczeń rejestrowane są za pomocą dodatkowego procesora

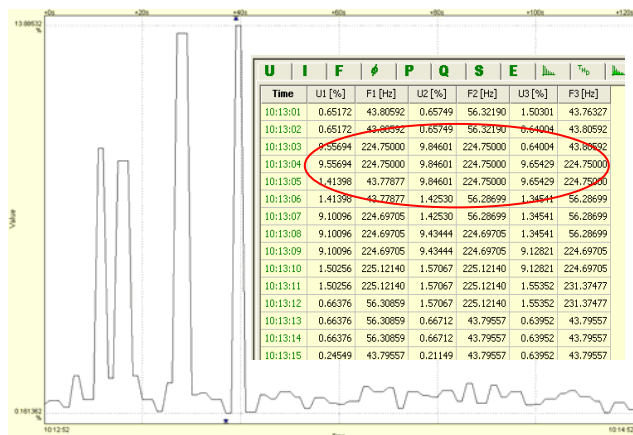
80C166 w pamięci typu Compact Flash a następnie mogą być przesłane do komputera klasy PC w celu wizualizacji wyników, przez dowolny ze standardowych interfejsów komunikacyjnych. Dokładną synchronizację z czasem astronomicznym, niezbędną do porównywania wyników z wynikami z innych urządzeń, zapewnia wbudowany system GPS. Na rysunku Rys.3 przedstawiono wygląd analizatora i rejestratora typu NSQ400.



Rys.3. Analizator i rejestrator parametrów sieci energetycznej NSQ400.  
Fig. 3. Power quality parameters analyzer and recorder type NSQ400.

#### 4. Pomiary wykonane z zastosowaniem analizatora NSQ400

Na rysunku Rys.4 przedstawiono wyniki pomiarów napięcia sygnałowego o częstotliwości 227Hz. W postaci graficznej wyraźnie widać poszczególne impulsy i ich amplitudę względem pierwszej harmonicznej. Uwagę zwracają wyniki zamieszczone w tabeli na Rys.4. Zarejestrowana tam częstotliwość 224,75Hz różni się od

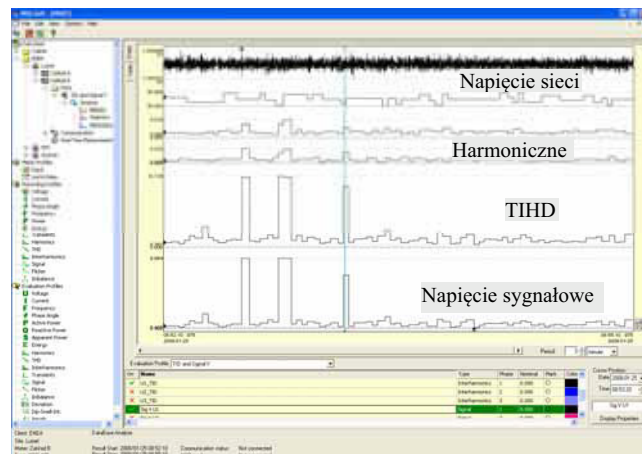


Rys.4. Rezultaty pomiarów napięcia sygnałowego 227Hz.  
Fig. 4. Results of mains signaling with frequency 227Hz.

częstotliwości napięcia sygnałowego 227Hz. Różnica ta wynika z zastosowanej metody pomiaru interharmonicznych polegającej na poddaniu transformacji Fouriera 10 okresów napięcia sieciowego, co przy częstotliwości napięcia 50Hz powinno dać prążek o częstotliwości 225Hz lub 230Hz (rozdzielczość 5Hz). Zgodnie z definicją napięcie sygnałowe jest to interharmoniczna o największej wartości, co przy nieznacznie mniejszej od znamionowej częstotliwości napięcia sieciowego dało wyżej przedstawiony rezultat.

Na rysunku Rys. 5 przedstawiono wyniki rejestracji kolejno od góry: wartości skutecznej napięcia w fazie U1, częstotliwości, czwartej i piątej harmonicznej napięcia, współczynnika zawartości

interharmonicznych TIHD oraz napięcia sygnałowego w fazie U1. Na wykresie wyraźnie widać zgodność występowania impulsów napięcia sygnałowego ze skokowymi zmianami TIHD. Uwagę zwracają też niewielkie zmiany amplitudy czwartej i piątej harmonicznej w momencie zmian napięcia sygnałowego. Są to odpowiednio 200Hz i 250Hz - najbliższe częstotliwości względem częstotliwości napięcia sygnałowego. Wartość tych zmian jest jednak bardzo mała i waha się w granicach 0,2 do 0,3%.



Rys.5. Wyniki rejestracji TIHD i napięcia sygnałowego.  
Fig. 5. Results of TIHD and mains signaling recording.

#### 5. Podsumowanie

Przedstawiony powyżej problem pomiaru interharmonicznych nabiera coraz większego znaczenia w związku z powszechnym stosowaniem nieliniowych i impulsowych obciążeń sieci energetycznej. Nadmierna zawartość niepożądanych zniekształceń może zakłócać poprawną pracę urządzeń i zmniejszać ich sprawność. Zastosowanie nowych technik pomiarowych wykorzystujących analizę widmowa i cyfrowe przetwarzanie sygnałów pozwala na względnie taną realizację aparatury do kontroli parametrów sieci energetycznej i analizę jej jakości.

#### 6. Literatura

- [1] NSQ 400 Analizator sieci trójfazowej i jakości energii, karta katalogowa, Calmet, Zielona Góra, 2006.
- [2] NSQ 400 Analizator sieci trójfazowej i jakości energii, instrukcja obsługi urządzenia i programu, Calmet, Zielona Góra, 2006..
- [3] PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002.
- [4] IEC 61000-4-30 Testing and measurement techniques – power quality measurements methods, IEC, Geneva 2003.
- [5] IEC 61000-2-2 Compatibility levels for low frequency conducted disturbances and signaling in public low level voltage power supply systems, IEC, Geneva 2001.
- [6] IEC 61000-4-7 General guide for harmonics and interharmonics measurements and instrumentations for power supply systems, IEC, Geneva 2002.
- [7] Z.Hanzelka, A.Bień, Harmonics and interharmonics, Copper Development Association, AGH, July 2004.

**Title:** Interharmonics measurements in order to evaluate the Power Quality in power supply systems.

Artykuł recenzowany